

개선된 퍼미언스법에 의한 영구자석 회전기의 해석 및 설계

정태경, 오승석
중앙대학교 공과대학 전기공학과

Analysis and Design of Permanent Magnet Motor by the Improved Permeance Method

Tae-Kyung Chung and Seung-Suk Oh
Dept. of Electrical Engineering ChungAng University Seoul 156-756, Korea

Abstract - To analyze and design a motor magnetic permeance method and numerical methods such as F.E.M. are used. In this thesis, DC motor is analyzed and designed by the permeance method. Modified Carter coefficient and leakage permeance are presented. A magnetic flux path can be approximated properly by using a equivalent π network representation adding the leakage coefficient. Finally, effective and easy-to-use program is realized. Experimental analysis and design with an actual motor proves that this program produces reliable results. There are many experimental coefficients in this algorithm and it makes some design errors. Using of this program, an motor engineer can obtain satisfactory characteristic and design value by inputting initial data at once.

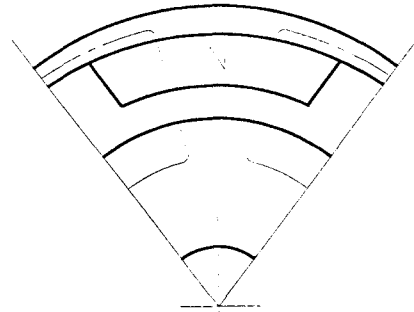


그림1 DC motor의 자로구성

1. 서론

본 논문에서는 Ferrite자석 회전기의 설계 및 특성해석을 주제로 논술하고 있다.

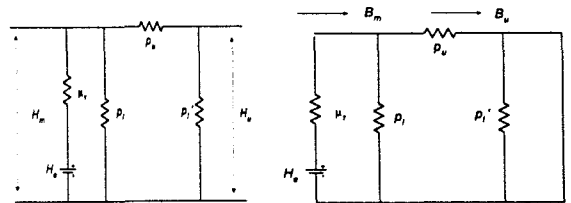
자로 계산은 자로 각부의 유효 및 누설permeance를 구하는 것이고 이들 permeance값 또는 누설계수, 기자력 손실 계수 등이 구해지기 위해서 파이형 4단자 회로로써 자로 해석이 적용되어 구해진다. 본 논문에서는 카터계수, 누설퍼미언스등 주요 계수값들을 변화시켜 해석하고 프로그램을 만들 것이다.

현재 우리나라의 대부분의 업체에서는 전동기 설계에 있어서 고전적인 방식을 취하고 있으며, 이 또한 외국으로부터 도입된 프로그램을 사용하고 있다. 이러한 설계 프로그램은 설계 숙련도에 따라 사용이 매우 불편하거나, 습득에 많은 시간이 소요된다. 따라서 기본적인 지식 정도만 보유하고 있는 사람도 빠른 시간에 습득하여 설계에 이용될 수 있는 사용자 중심의 설계 프로그램이 요구된다. 본 논문에서는 개선된 퍼미언스법을 이용하여 사용자가 용이하게 사용할 수 있도록 비주얼하게 프로그램은 작성하였다.

2. 본론

2.1 π 형 4단자 회로에 의한 해석

실제의 자석기기의 자기회로는 공극을 포함한 여러가지 자로로 구성되었다. 퍼미언스법을 이용해서 모터 1극의 자속을 전류로, 기자력을 전압으로 치환해서 해석하는 것이 π 형 4단자회로에 의한 해석방법이다. 그림1에 DC 모터의 자속경로를 나타내었다.



(가)전기자 개방시 (나)전기자 단락시
그림2 전동기의 자속경로를 고려한 자기등가회로

그림3의 회로에 있어서 자석 동작은 역기자력이 존재하지 않는 전기자 단락시 (그림2(가))와 역기자력이 자석 기자력과 완전히 일치하여 전기자측의 자속을 소멸시키는 전기자 개방시 (그림2(나))로 나눌 수 있다. 전동기가 정상 상태에서 동작하는 한, 자석 동작은 위의 2가지 자기적 상태에서 결정되는 영역을 이탈하지 않는다.

그림2의 등가회로에서 계자측 누설 퍼미언스 계수는 자석의 등가치수비에 관계하고 수정계수를 고려하면 식 (1)로 표현된다.

$$p_l = \zeta \left(\frac{l}{d} \right) \left\{ \sqrt{1 + \left(\frac{l}{d} \right)^2} + \frac{l}{d} \right\} \quad (1)$$

$$\zeta = \frac{1}{5} (12 - p) ; \frac{l}{d} = \frac{t_r}{\sqrt{4a_m/\pi}}$$

식(1)에서 a_m 은 자석 단면적 이다.

2.2 카터 계수와 누설 퍼미언스 계수의 개선

출력단 개방시 동작점을 결정하는 퍼미언스 계수는 그림2.3(나)의 등가 회로로부터 구하면 식(3)이 된다.

$$p_L = p_i + p_u \parallel p_i'$$

$$p_L = \frac{p_u(p_i + p_i') + p_i p_i'}{p_u + p_i'} = PL1 \quad (3)$$

그러나 기존에는 실제로 p_i' 을 구하기가 어려우므로 퍼미언스 계수 p_L 은 식(4)과 같이 구해서 사용하였다.

$$p_L = \xi \left(\frac{2l}{d} \right) \left[\sqrt{1 + \left(\frac{2l}{d} \right)^2} + \frac{2l}{d} \right] : \xi = 1.3 \sim 1.4 \quad (4)$$

ξ 는 경험적인 계수이다.

그림3에서 보여지듯이 출력단 개방시의 누설퍼미언스 계수가 단지 자석의 등가 치수비에만 비례한다는 것은 문제가 있다. 철심의 누설자속이 슬롯의 형상에 비례하여 발생하기 때문이다. 위에 서술했듯이 기존에 문제가 되었던 것은 전기자측의 누설퍼미언스 계수 p_i' 을 어떻게 구하는 것이냐 이다. 즉, 전기자측의 누설통로를 얼마나 정확히 가정해서 퍼미언스 계수를 계산하는 문제이다. 실제 유한요소법으로 시뮬레이션을 돌려보면 누설자속통로를 그림3로 확인할 수 있다.

모든 자속은 공극과 철심을 통해 흐르고 그것은 퍼미언스 계수에 비례한다. 철심의 퍼미언스가 공극의 퍼미언스보다 상당히 크다고 할 때 퍼미언스 계수는 공극의 길이와 면적에 의해 결정되는 값이다. 전기자측의 모든 누설은 그림3에서 보여지듯 치끝을 통해서만 일어난다는 가정을 하면 누설 퍼미언스계수

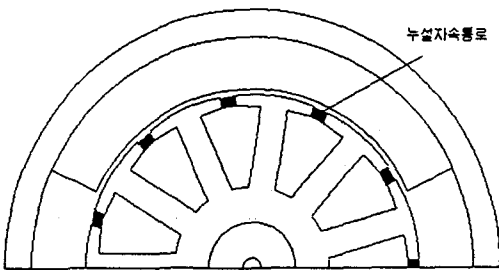


그림3 전기자측의 누설자속 통로

$$p_i' = \frac{t_r}{a_m} \frac{A_s}{s} \frac{S_n}{P} \quad (5)$$

로 구할 수 있다. 여기서 A_s 는 치끝 부분의 면적이다.

식(5)를 계산하여 식(3)에 대입하여 실제 계산해보면 2극 12슬롯 내외에서 수정계수 ξ 값은 1.7에서 2.5으로 됨을 알 수 있고, 4극 14슬롯 내외에서는 2극 12슬롯에서 보다 누설 퍼미언스 계수가 작아짐을 알 수 있다. 그 구체적인 예를 표1에서 보인다.

표1 모델에 따른 누설 퍼미언스 계수의 비교

	10Wfan용모터	53F2CR	50AN	53V8
극수	2	4	2	4
슬롯수	11	13	12	14
자극 각도	130	79	147.5	44
등가 치수비(l/d)	0.1478	0.1641	0.1258	0.1782
PL1/PL = ξ	2.3205	1.5002	2.0149	2.0208

유효 퍼미언스 계수는 식(6)로 나타낼 수 있다.

$$p_u = \frac{t_r}{a_m} \frac{a_g}{k_c l_g} \quad (6)$$

k_c 는 Carter 계수이고 식(7)로 주어져 사용되어 왔다.

$$k_{c1} = \frac{t_s}{t_s - r_c l_g} : t_s = \frac{\pi D_a}{S_n} \quad (7)$$

$$r_c = \frac{(s/l_g)^2}{5 + s/l_g}$$

D_a : 전기자 내경, S_n : 슬롯수, s : 슬롯 개구폭

그런데, 여기서 쓰인 식(7)의 카터계수는 가장 간단한 카터계수로 그 정확도가 떨어진다. 간략화되기 이전의 원래의 카터계수를 구해보면 식(8)이 된다.

$$k_{c3} = \left[1 - \frac{s}{t_s} + \frac{4l_g}{\pi t_s} \ln \left(1 + \frac{\pi s}{4l_g} \right) \right]^{-1} \quad (8)$$

Ward 와 Lawrenson에 의한 또 다른 카터계수는 다음식으로 주어진다.

$$k_{c2} = \left(1 - \frac{2s}{\pi t_s} \left\{ \tan^{-1} \left(\frac{s}{l_g} \right) - \frac{l_g}{2s} \ln \left[1 + \left(\frac{s}{l_g} \right)^2 \right] \right\} \right)^{-1} \quad (9)$$

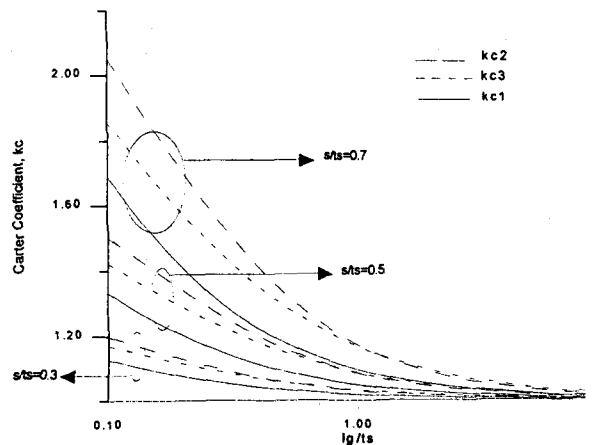


그림4 다양한 카터계수의 비교

위 3식을 비교하면 모든 식이 유사한 값을 가짐을 알 수 있다. 그림6에 나타나듯이 k_{c2} 가 k_{c3} 보다 좀더 정확함을 알 수 있고, k_{c3} 가 k_{c1} 보다 정확함을 알 수 있다. ($k_{c2} > k_{c3} > k_{c1}$)

2.3 DC Motor의 특성해석 알고리즘 및 프로그램

위에서 제시된 개선된 퍼미언스법을 이용하여 프로그램을 제작한다. 이 프로그램은 모터의 전자적 사양 그외 전원 사양 온도조건 준 정상동작시의 특성을 계산한다. 우선 모터의 전자적 사양, 자기회로의 치수, 자석재의 주요자기특성 및 전기가 권선사양 온도조건 등을 준 다음 모터의 정수를 계산한다. 모터의 특성은 정상동작시의 특성이고, 실용적인 C.G.S 단위를 채용한다.

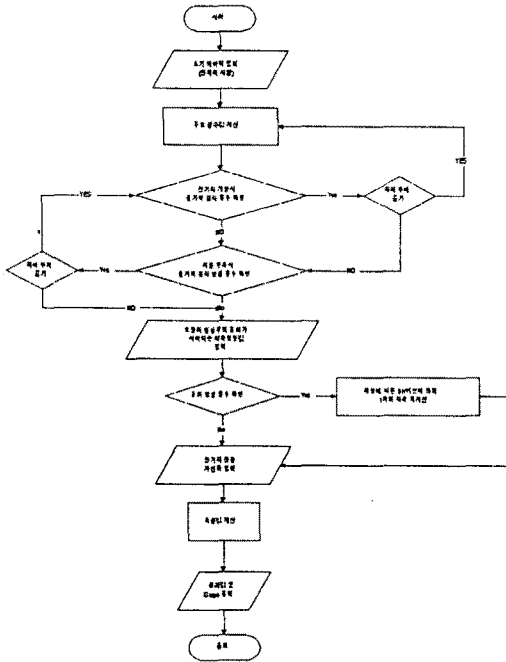


그림5 DC Motor의 특성해석 흐름도

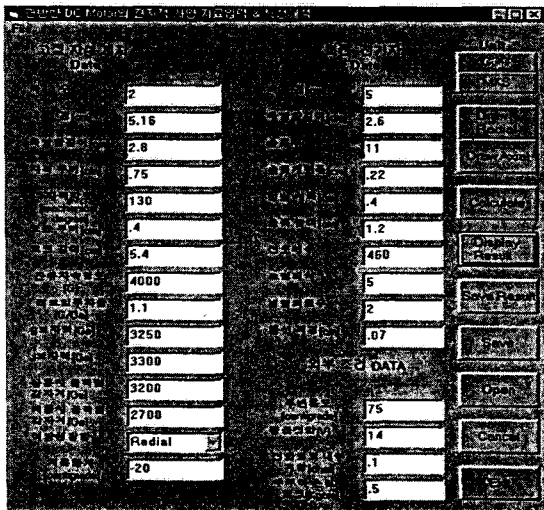


그림6 초기데이터 입력창

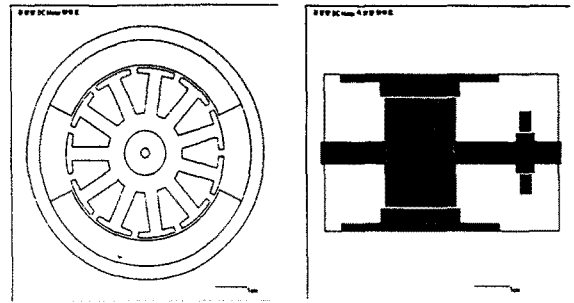


그림7 경방향 및 축방향 단면도

V (V)	I (A)	N (rpm)	T (kgcm)	POW (W)	η (%)	EF
14.0	2.0	3250.0	1.5	11.2	1.0	0.0
13.0	2.01	3181.0	1.570	10.7	27.75	0.325
11.5	4.02	2828.0	1.05	11.5	54.69	0.558
10.0	6.03	2474.0	0.525	10.0	80.82	0.571
8.5	8.04	2120.0	0.24	8.5	103.1	0.584
7.0	10.05	1766.0	0.11	7.0	121.4	0.163
5.5	12.06	1412.0	0.05	5.5	141.57	0.631
4.0	14.07	1058.0	0.02	4.0	172.77	0.303
2.5	16.08	704.0	0.01	2.5	199.8	0.208
1.0	18.09	350.0	0.00	1.0	221.5	0.10
0.5	20.10	175.0	0.00	0.5	241.81	0.0

그림8 모터특성값

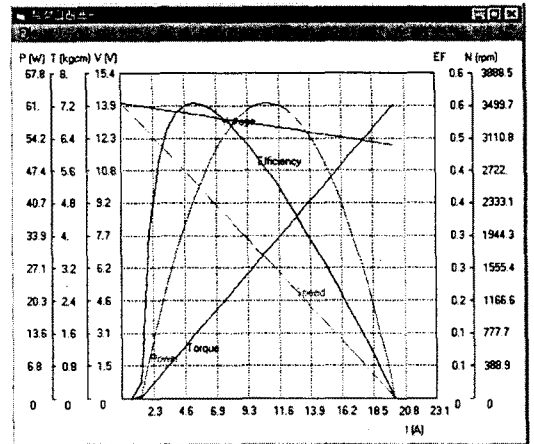


그림9 특성 그래프

2.4 DC Motor의 설계 알고리즘 및 프로그램

일반적으로 기기의 설계에는 요구사양을 준 다음 주요 치수, 사양등을 결정하는 것이다. 그러나 영구자석 기기와 같은 소형, 소용량 기기는, 미리 주요 치수 및 사양을 주고 기기의 특성을 계산하여 그것이 요구사양을 만족하는가를 확인하고, 시행 착오적인 방법을 채용하는 것이 많다. 소형기에서 특별히 예측할 수 없는 요소의 영향이 큰 것, 또 자석 자기회로의 누설 자속의 계산이 어려운 것 등으로 인해 유효 및 유기기전력 등을 정확하게 파악하지 못하는 경우가 많다. 이때는 다분히 경험적인 요소를 넣어 시행착오적 설계방법이 자주 사용되고 있다.

이 설계의 대상이 되는 DC모터는 페라이트 자석 계자

의 경방향 공극형이다. 설계사양으로서는 정격 회전 속도, 정격 토크, 무부하 회전속도 또는 구속시 토크, 무부하 손실 토크, 기계동작의 저온한계 온도 및 전원 사양 등의 기본적인 사양이다. 그의 자료방식, 페라이트 자속의 주요 자기 특성치 및 전기자 권선 방식 등의 보충적인 사양을 줄 필요가 있다.

본 논문에서 서술한 특성 계산은 시행적 설계 방법이다. 구체적인 설계계산 루틴은 앞의 특성해석과 같이 생략하고 초기 데이터 입력창과 그 구체적인 결과값과 모터 치수값을 보여준다.

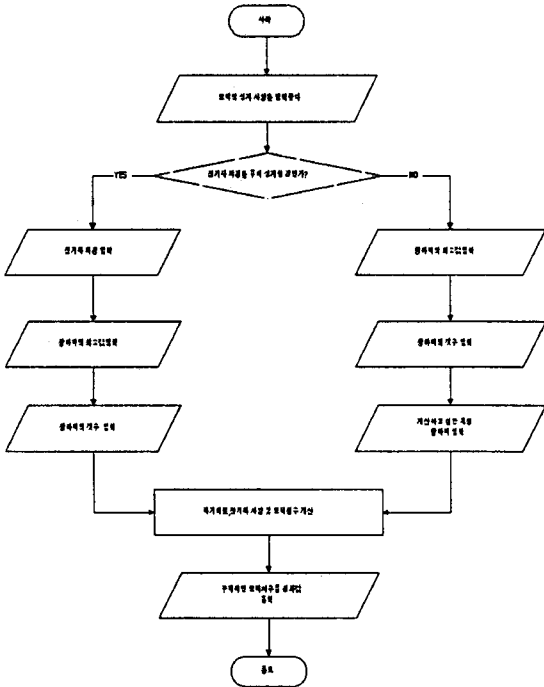


그림10 DC Motor의 설계 흐름도

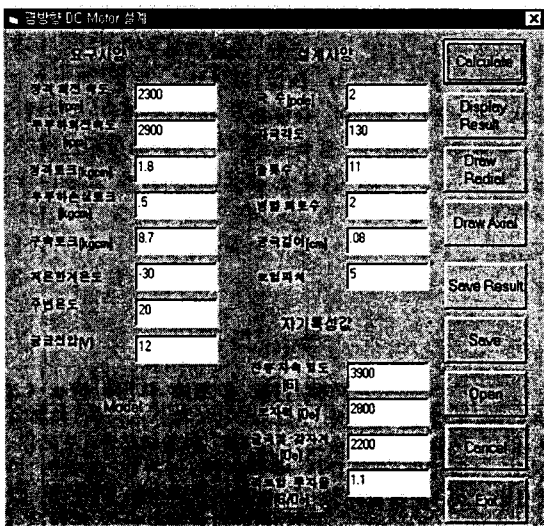


그림11 초기 데이터 입력창

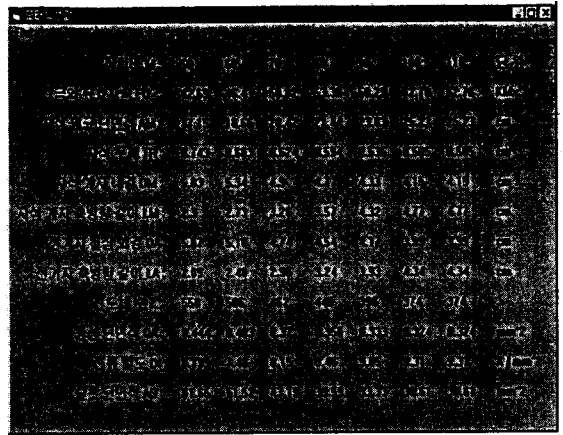


그림12 장하비 변화에 따른 설계값 출력

3. 결 론

본 논문에서는 퍼머넌트스법을 이용하여 DC Motor에 대해 설계 및 해석을 진행하였다. 기존의 자기저항법에 카터계수와 누설 퍼미언스를 개선시켜서 해석 및 설계를 하였다. 누설계수를 도입한 파이형 4단자 등가회로를 이용하여 적절한 자료의 평가가 가능하였다. 또한 해석과 설계후 효율성을 증시킨 프로그램을 제작하여 쉽게 사용하도록 하였다. 검토결과 설계 프로그램은 실제의 전동기에 대해 신뢰할 수준의 결과를 산출하는 것을 확인할 수 있었으며, 발생하는 오차는 설계 알고리즘에 도입되는 경험치에 의한 것으로, 본 논문에서 이용한 알고리즘 상 어느정도는 필연적인 것으로 사료된다. 오차를 줄이기 위해 경험치 계수를 줄이는 방법은 유한요소법등의 수치해석적인 요소를 추가한 알고리즘을 도입함으로써 보완이 가능할 것이다. 이 프로그램으로 인하여 사용자가 한번의 초기데이터 입력으로 원하는 특성값이나 설계 값을 얻을 수 있게 되어 쉽게 모터를 분석할 수 있게 되었다.

[참 고 문 헌]

- [1] T.J.E. Miller, Brushless Permanent-Magnet and Reluctance Motor Drives, CLARENDON PRESS • Oxford, 1989
- [2] J.R. Hendershot Jr and T.J.E. Miller, Design of Brushless Permanent-Magnet Motors, Magna Physics Publishing and CLARENDON PRESS • OXFORD, 1994.
- [3] James R. Ireland, Ceramic Permanent-Magnet Motors, McGRAW -Hill Book Company, 1964.
- [4] 大川 光吉, 永久磁石磁氣回路・磁石回轉機 設計 マニュアル, 綜合 電子 リサーチ, 1989.
- [5] 大川 光吉, フェライト磁石 回轉機의 設計, TDK, 1984.
- [6] 大川 光吉, 永久磁石磁氣回路의 設計・特性計算法, 綜合 電子 리サーチ, 1988.
- [7] 大川 光吉, 永久磁石 回轉機, 綜合電子 出版社, 1985.
- [8] Dauance C. Hanselman, "Brushless Permanent-Magnet Motor Design", McGraw-Hill, Inc
- [9] 大川 光吉 著, 元 鍾 洙 譯, "페라이트 磁石 回轉機의 設計", 東逸出版社